

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「超細鋳抜き孔のためのカーボン中子の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 社団法人日本鋳造協会

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 1

1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者) 2

1-3 成果概要 6

1-4 当該研究開発の連絡窓口 7

第2章 本論 8

最終章 全体総括 22

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の背景

自動車用エンジンプロックやシリンダーヘッドは高温の燃焼ガスが生じるため油や水による冷却が必要であり、その為、当該ブロックやヘッドには水冷用、油冷用の冷媒が通る細い孔が多数存在している。現在これらの穴は鋳造工程では作る事が出来ない為に機械加工により孔穴明けを行っている。

しかし、この加工は非常に長くかつ細いドリルによって行うため、コスト高になるとともに加工途中でドリルが折損し製品が不良になる懸念が付きまとっている。今回開発しようとする、高強度で崩壊性の良い黒鉛中子を採用する事により上記の高価加工工程が省略出来るとともに、従来は困難であったU字型やS字型の孔穴明けも可能になりエンジンプロックの軽量化にもつながることから環境に優しい自動車の開発にも寄与するものと考えられる。

2) 研究の目的及び目標

この研究開発の目的は高強度で崩壊性の良い黒鉛中子を開発し、この中子を使って複雑鑄孔鑄物の製造技術を下記順番で開発した。

①カーボン中子用のカーボンとバインダーの選定及びその配合率の追求による中子材料の開発

本研究では1400℃という高温域に耐えうる強度と鋳造後崩壊出来る中子材質が要求される事から強さともろさを両立させたカーボンとバインダーの適正な配合率を追及する。

②開発した中子材料での中子成型技術の開発

開発した中子材料を使用して直孔・曲孔及び複雑形状中子を寸法精度の高い安定的な製造が出来る成型技術の確立。

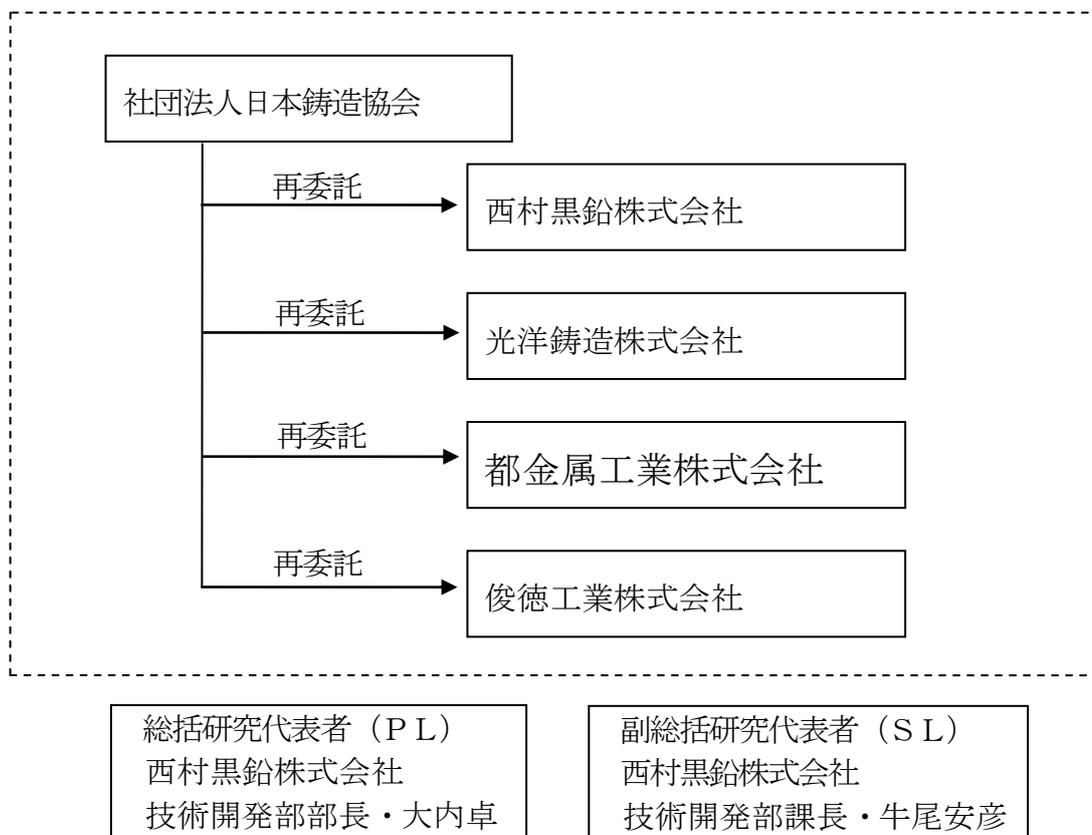
③カーボン中子を使用する製品の鋳造技術の開発である。

開発したカーボン中子を使用して直孔（ $\phi 4\sim 8\text{mm}$ ）、曲孔（U字・S字孔）及び複雑形状（凹凸）を鑄抜く事が出来る鋳造技術の確立。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

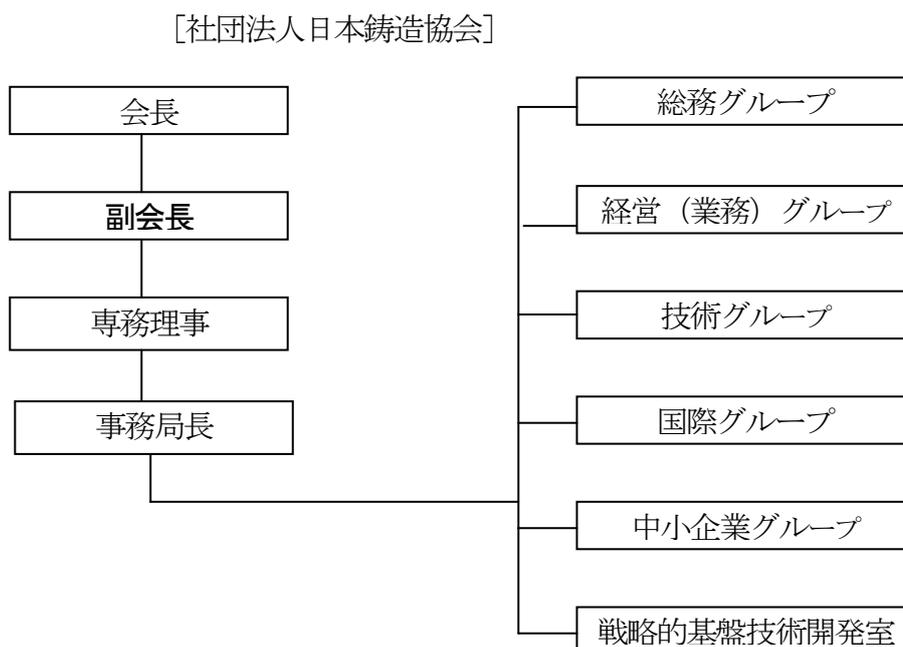
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

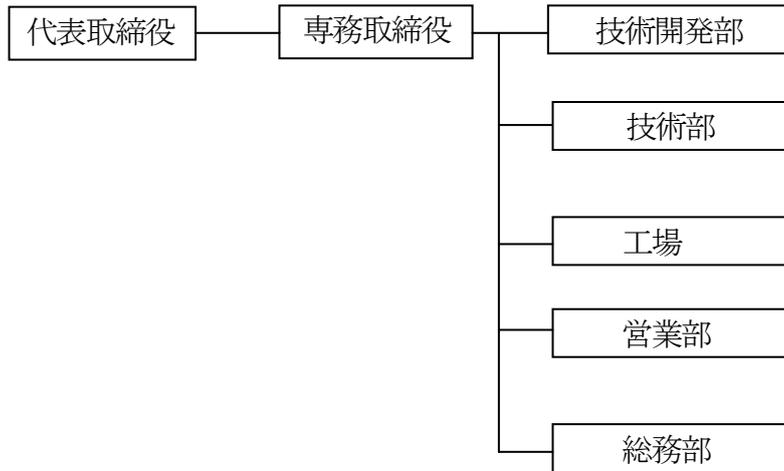


2) 管理体制

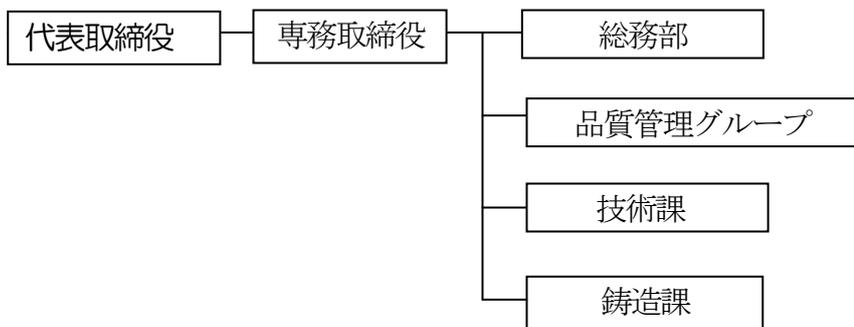
① 事業管理者



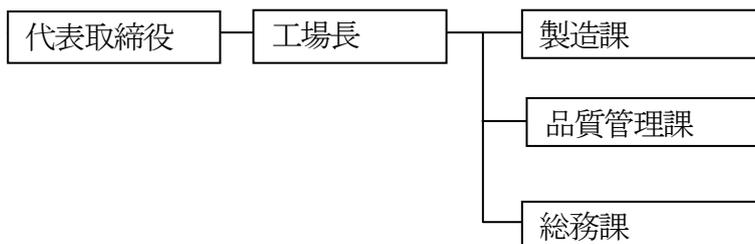
② (再委託先)
西村黒鉛株式会社



光洋鋳造株式会社



都金属工業株式会社



俊徳工業株式会社



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 社団法人日本鑄造協会

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
竹田 功	戦略的基盤技術開発室・グループリーダー	④
深井 知子	戦略的基盤技術開発室・担当	④

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
なし		

【再委託先】

西村黒鉛株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
西村 悟志	専務取締役	①②③
大内 卓	技術開発部 部長	①②③
牛尾 安彦	技術開発部 課長	①②③
西村 雅行	技術顧問	①②③
田中 義章	技術部 課長	①②③
高石 義明	工場長	①
松家 良行	営業部 課長	②
中台 純一	営業部 係長	①②③

光洋鑄造株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
白江 肇英	専務取締役	①②③
谷本 一郎	工場長	③
長崎 愛彦	技術課 課長	③
山村 一哉	鑄造課 課長	③

都金属工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
岩崎 巖	工場長	①②③
山内 昭弘	製造課 課長	①②③
三好 崇文	品質管理課 課長	①②③

俊徳工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
高岡 博之	代表取締役	①②③
小林 利昭	工場長	②③
藤原 直人	技術部	③
藤川 久夫	技術部 主任	③
勘納 嘉信	職長	③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

社団法人日本鋳造協会

(経理担当者) 戦略的基盤技術開発室 担当 深井 知子
 (業務管理者) 戦略的基盤技術開発室 グループリーダー 竹田 功

(再委託先)

西村黒鉛株式会社

(経理担当者) 総務部 部長 森川 徹
 (業務管理者) 総務部 部長 森川 徹

光洋鋳造株式会社

(経理担当者) 総務部 白江 真有美
 (業務管理者) 代表取締役 白江 豊

都金属工業株式会社

(経理担当者) 総務課 太田 史子
 (業務管理者) 代表取締役 太田 和憲

俊徳工業株式会社

(経理担当者) 総務部 高岡 恵津子
 (業務管理者) 取締役 久保 武雄

(4) その他

①他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
福田 葉椰	株式会社木村鋳造所 開発部 部長	アドバイザー
苅田 秀男	日野自動車株式会社 鋳造部 課長	アドバイザー

1-3 成果概要

① カーボン中子用のカーボンとバインダーの選定及びその配合率の追求による中子材料の開発

①-1 骨材選定

カーボン類の中で、結晶のよく発達しているものが黒鉛であり、熱伝導性及び耐熱衝撃性が高く化学的に安定なカーボンである。その中でも特に鱗状黒鉛は結晶性が高く耐酸化性状において最も優れる特性を有している。

また、黒鉛を用いた中子の特性においても総合的にみて鱗状黒鉛に優位性があると判断でき、カーボン中子に用いる最適な骨材として鱗状黒鉛を選定した。

①-2 バインダー選定と配合率の確定

本研究では鋳造という高温域に耐えうる強度と鋳造後に崩壊できる中子が要求されることから“強さ”と“もろさ”を両立させたカーボンとバインダーの適正な配合率を迫り、中子の取扱いに支障をきたさず、鋳造時に耐えうる高強度なカーボン中子の配合率を確立した。

①-3 テストピースによる強度試験

二次焼成したカーボン中子を既存技術のシェル鋳型の強度試験法を（JACT 試験法）を参考にし、抗折強度を測定する事により目標となる基準値の設定が可能となった。

②開発した中子材料での中子成型技術の開発

②-1 中子成型の為の最適設備の選定

与えられた予算の中で3年間を通して製品化に向けての最適な設備導入ができた。

②-2 中子成型技術の確立

②-2-1 直孔形状中子の成型技術の開発

成型方法としては押出成型を用い成型を実施した。中子の乾燥工程及び焼成工程における専用治具の検討により中子変形量は ± 0.1 mm以下に抑える事ができ、直孔形状中子については寸法精度の高い成型技術を確立した。

②-2-2 曲孔形状中子の成型技術の開発

成型方法としては流し込み成型を用い成型を実施した。中子の歪変形を抑制する目的に専用治具を検討し、中子変形量が 0.3 mm以下に抑える事ができた。しかし直孔形状中子と比較すると精度的には悪く、より精度の高い成型技術の確立が課題として残った。

③カーボン中子を使用する製品の鋳造技術の開発

③-1 アルミ鋳物での鋳造技術の開発

カーボン中子を使用して鋳造した結果、鋳造欠陥は認められず $\phi 5 \sim 8$ mmまで直孔・曲孔中子形状を保持した状態で目標とする超細鋳抜孔の確保を達成した。

③-2 銅合金鋳物での鋳造技術の開発

カーボン中子を使用して鋳造した結果、鋳造欠陥は認められずφ5～8mmまでの直孔・曲孔中子形状を保持した状態で目標とする超細鋳抜孔の確保を達成した。

③-3 銑鉄鋳物での鋳造技術の開発

カーボン中子を使用してキャビティモールド鋳造法及びフルモールド鋳造法で鋳造した結果、鋳造欠陥は認められずφ4～8mmまでの直孔中子形状を保持した状態で目標とする超細鋳抜孔の確保を達成した。

また、鋳造品の重量が大きくなった場合でも同様の結果を得た。しかし、アルミ鋳物及び銅合金鋳物と比較し中子の崩壊性が悪く、この点が事業化の課題として残った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

社団法人日本鋳造協会 戦略的基盤技術開発室 竹田 功

電話番号：03-3431-1375、FAX:03-3433-7498

E-mail:takeda@foundry.jp

第2章 本論－(1)

①カーボン中子用のカーボンとバインダーの選定及びその配合率の追求による中子材料の開発

本研究では1,400℃という高温域に耐える強度と、鑄造後はなるべく簡単に崩壊できる物が要求される。崩壊には液体の使用を検討していることから、鑄造後の中子の状態としてはポーラス状にし、液体を吸い込みやすくする手法を考える「強さ」と「もろさ」を両立させた、カーボンと無機バインダーを融合させた、ベストな配合を見つけ出す。

①-1 骨材選定

最も重要なのがカーボンの選定で、基準は高純度黒鉛にしているが、黒鉛の中でも非常にスペックの安定している人造黒鉛と潤滑性に優れた天然黒鉛（鱗状黒鉛）が主になる。その他のカーボンとしてコークス、カーボンブラックも念のため検討材料としている。次に大事なのが粒度構成と考えられる。細かいと成形後クラックが入りやすく、表面積が多い分、バインダーの添加量も増え、逆に粗いと中子面の肌が汚くなり強度自体も弱い方向に向く可能性がある。細かい物と粗い物を融合して相乗効果を持たせる事を狙いとする。

i. 研究内容

カーボン素材の代表的なものには天然黒鉛、人造黒鉛、コークス、カーボンブラック等がある。各カーボン類の特性及びそれを用いたカーボン中子としての特性について検討評価した。

図2-①-1に示すようにカーボン材料のうち黒鉛類が最も結晶性に優れる。黒鉛類の中でも理想的な黒鉛結晶構造に近い鱗状黒鉛は高い酸化開始温度を持ち、耐酸化性状に優れ、同じ天然黒鉛でも土状黒鉛は低い値を示す。

また、人工的に黒鉛化させた人造黒鉛は黒鉛化（結晶）度が低く酸化性状は必ずしも良好とは言えない。コークスはさらに低い値である。

黒鉛類については、産地、純度、結晶性、粒度等が酸化性状に影響を及ぼすと考えられる。

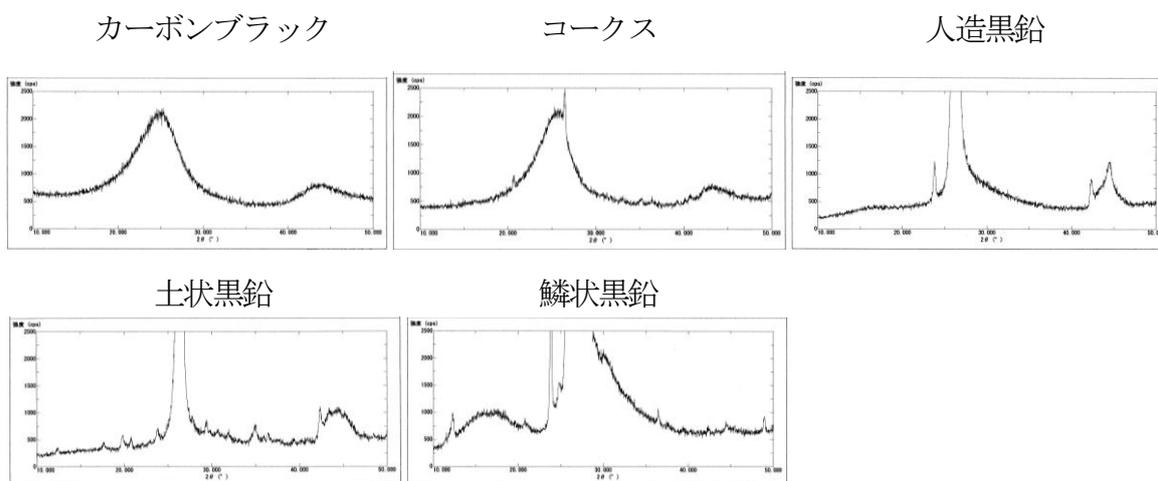
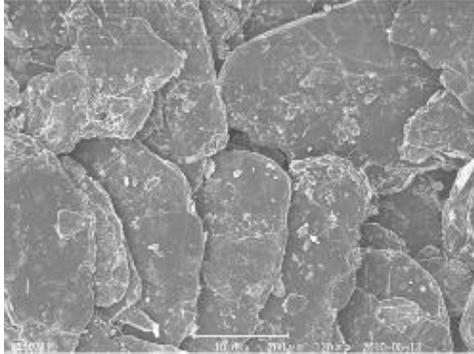


図2-①-1 各炭素質のX線回折図

i-2. 黒鉛結晶比較

i-2-1. 鱗状黒鉛 (Natural Crystalline Graphite)

鱗状黒鉛は非常に柔らかい潤滑性がある結晶鉱物で、かなり耐熱性もあり科学的にも安定しており熱及び電気の良導体である。鱗状黒鉛顕微鏡写真を図2-①-2に示す。



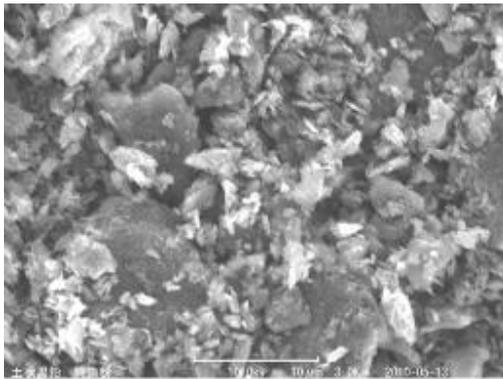
【紛体特性】

かさ密度	0.1~0.3g/cm ³
比表面積	5~15μm
電気抵抗	0.013~0.025Ω-cm
摩擦係数	0.09~0.094
比重	2.23~2.25

図2-①-2 鱗状黒鉛顕微鏡写真

i-2-2. 土状黒鉛 (Natural Amorphous Graphite)

土状黒鉛は鱗状黒鉛に見られるより微細な結晶形からなり、版石や泥板岩のような弱い変成岩の中に一定に分布している。岩石および不純物が捨てられ、原鉱は80~90%である。図2-①-3に土状黒鉛顕微鏡写真を示す



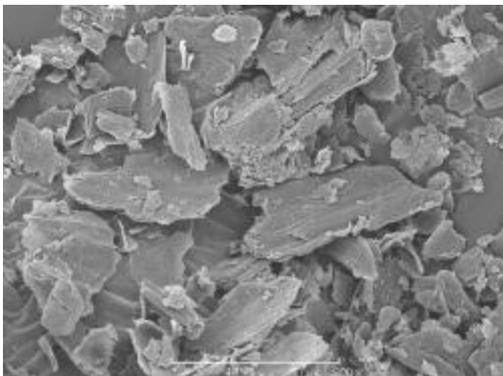
【紛体特性】

かさ密度	0.08~0.2g/cm ³
比表面積	200~300μm
電気抵抗	0.013~0.075Ω-cm
摩擦係数	0.2
比重	2.23~2.25

図2-①-3 土状黒鉛顕微鏡写真

i-2-3. 人造黒鉛 (Synthetic Graphite)

人造黒鉛はコークスをピッチ、タールなどで成形し一次焼成で炭化を行い、二次焼成で黒鉛化した物である。鱗状黒鉛と比べると結晶が発達しておらず、結晶子も小さく潤滑性も若干劣る。図2-①-4に人造黒鉛顕微鏡写真を示す。



【紛体特性】

かさ密度	0.1~0.3g/cm ³
比表面積	5~50μm
電気抵抗	0.04~0.08Ω-cm
摩擦係数	0.2~0.3
比重	2.23~2.25

図2-①-4 人造黒鉛顕微鏡写真

上記 i-2-1 から i-2-3 で、天然黒鉛である鱗状黒鉛は他の黒鉛と比較し結晶構造が発達しておりその点より特に潤滑性、耐酸化性状において優れていると考えられる。

各黒鉛類を用いたカーボン中子の比較について調査結果を表 2-①-1 に示す。

各黒鉛類の中では鱗状黒鉛が総合的に他の黒鉛より優位性があると判断でき、カーボン中子として用いる骨材として、最も適していると考えられる。

また、土状黒鉛については黒鉛類の中でコスト的に最も優位性があり、将来的には検討の余地があると考えられる。

表 2-①-1 黒鉛別比較表

	中子の造型性			中子を使用した鋳造性			コスト 指数
	成形性	乾燥時の 歪み変形	焼成時の 歪み変形	鋳造時の 歪み変形	中子の 崩壊性	中子強度	
鱗状黒鉛	◎	◎	◎	◎	◎	◎	100
土状黒鉛	◎	△	◎	○	◎	◎	80
人造黒鉛	◎	◎	◎	×	◎	◎	120

評価 ◎：特に良好 ○：良好 △：やや悪い ×：悪い

ii. 研究成果等

カーボン類の中で、結晶のよく発達しているものが黒鉛であり、熱伝導性及び耐熱衝撃性が高く、化学的に安定なカーボンである。その中でも特に鱗状黒鉛は結晶性が高く耐酸化性状において最も優れる特性を有している。また、黒鉛を用いた中子の特性においても総合的にみて鱗状黒鉛に優位性があると判断でき、カーボン中子に用いる最適な骨材として鱗状黒鉛を選定した。

①-2. バインダー選定と配合率の確定

バインダー（粘結剤）には下記 2 種類の方向で検討する。

(イ) 常温時に必要な強度を維持するためのバインダーは有機バインダーをベースに検討する。

(ロ) 1,400°Cの溶湯で鋳造する場合に必要な熱間強度を確保するためのバインダーは無機バインダーで検討する。

i. 研究内容

本研究では、鋳造用の中子に使用するため、高温域に耐えうる強度と鋳造後に崩壊出来ること要求される事から“強さ”と“もろさ”を両立させたカーボンとバインダーの適正な配合率を迫及した。当初は高温強度が低いため鋳造時に中子変形が発生したが、表. 2-①-2 に示す最適なバインダーの選定及び成分配合率を追求した結果、中子の変形の無い鋳物の鋳造が可能となった。

バインダーの評価試験における鋳造比較を図 2-①-5 に示す。

表 2-①-2 カーボン中子の成分 (重量比)

中子成分	No.①	No.②
黒鉛	100	100
水溶性有機バインダー	3	3
増粘剤	1	1
無機バインダーA	10	30
無機バインダーB	37.5	—
水	45	62

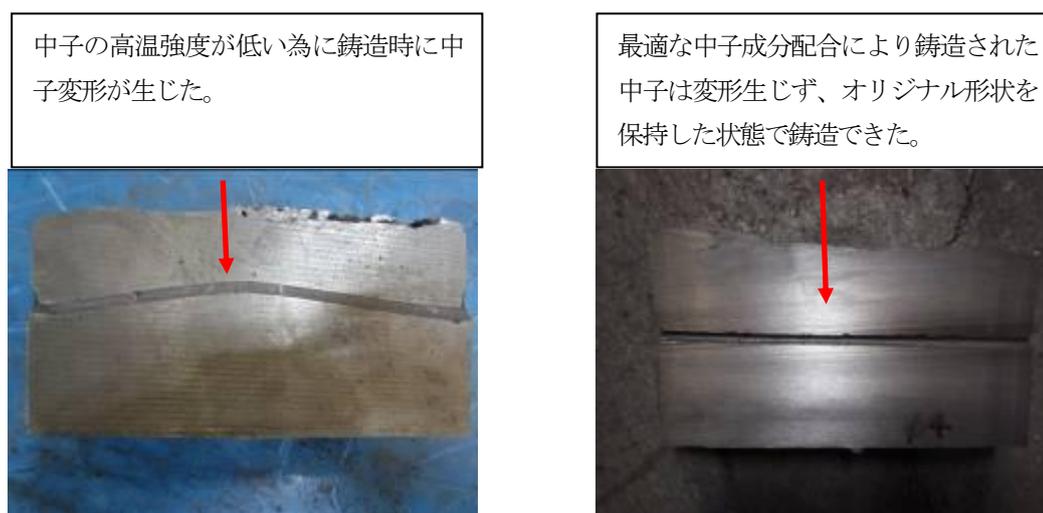


図 2-①-5 鑄造品の切断面

ii. 研究成果等

成形性の向上に寄与する可塑性の高い有機バインダーの選定ができた。
 カーボンと無機バインダーの適正な配合により、折れる等の問題を対策でき、中子の取扱いに支障をきたさず、鑄造に耐えうる高強度なカーボン中子の配合率を確定した。

①-3 テストピースによる強度試験

前項①-1、①-2 で選定した材料を配合して□10mm×L60mm のテストピースを成形・乾燥・焼成し常温での強度確認を行い、折れなかったことを確認し、項目②の行程に進む。

混練手順は「黒鉛+無機バインダー+有機バインダー+無機添加剤+水」を 20 分程度混練する。混練後、粘土状になった黒鉛ブロックを型に入れ「成形→自然乾燥→乾燥炉→1次焼成→最終焼成」で、強度テスト用テストピースを作製する。

i. 研究内容

既存技術のシェル鑄型の強度試験法 (JACT 試験法) に準拠し、成分配合の違う各中子について、抗折強度を測定し、その取扱い性について評価した (測定は全て 2

次焼成後の中子の抗折強度を測定する)。

i-1. 中子の抗折強度の測定方法

測定に使用した設備「小型卓上荷重試験器」を下記図2-①-6に示す。
また、抗折試験片の形状と三点曲げ試験荷重位図を図2-①-7に示す。



図2-①-6 小型卓上荷重試験器

テストピースサイズ：10mm×10mm×60mm

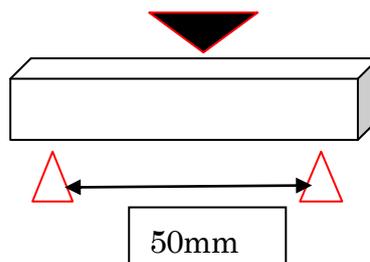


図2-①-7 三点曲げ試験荷重位図

i-2. 抗折強度測定結果とその取扱い性の判断

成分配合の違う各中子の抗折強度と取扱い性の評価について下記の表2-①-3を示す。中子の取扱い上、目安として設定した40 kgf/cm²以上は確保されており、今回得られた中子強度は十分にそれを満たしていることが確認できた。

表2-①-3 各中子類の抗折強度と取扱い性の評価

中子種類	抗折強度	取扱い性
アルミ用	45kgf/cm ²	良好
銅合金用	45kgf/cm ²	良好
鋳鉄用	72kgf/cm ²	良好

ii. 研究成果等

カーボン中子の抗折強度の基準値設定をするにあたり、既存技術のシェル鑄型の強度試験法を参考に数値化を実施し、各カーボン中子の実態強度を把握することができた。

②開発した中子材料での中子成型技術の開発

②-1 中子成型の為の最適設備の選定

メイン設備は下記の通りである。

(イ) 混練機（ニーダー）： 粘土状になるまで混練し、かなり硬い物になるのでニーダーが必要となる。

(ロ) 真空押出成形機： ニーダーで練り上げた材料を入れ、直孔、曲孔等の単一体形状を製造するのに適している。

(ハ) 超高温電気炉： 素材がカーボンであり、一般の酸化炉では灰になるため、真空焼成炉が必要。

(ニ) 熱風循環式常圧脱脂炉： 1次焼成で有機分を全て飛ばすことを目的とする。

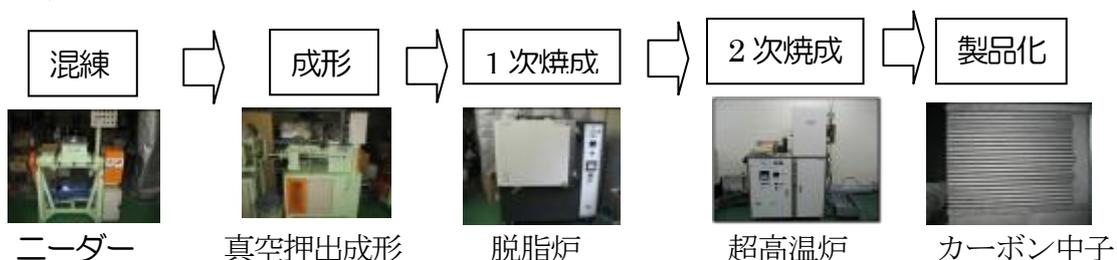
(ホ) 成形プレス機： 複雑形状及び凹凸形状の中子を成型するのに効果的な設備とである。

(ヘ) 蛍光X線元素分析装置： カーボン中子やその材料中に含まれる成分（不純物）を測定し鑄物に対し有害な元素のチェックや含有量の測定及び、最適な成分量を確定するために必要。

以上の設備が整う事で開発スピードが上がり、数多くの安定した試作品を製造することが可能になる。

i. 研究内容

この開発に必要な中子造形（下記中子成型工程）の為に、最適な設備を選定し購入する。



ii. 研究成果等

与えられた予算の中でカーボン中子成型に最適な設備の選定ができた。

②-2 中子成型技術の確立

中子の形状については、直孔・曲孔・複雑形状とステップアップしていくが、中子の種類は低温域のアルミ用と高温域の銑鉄用の2種類を開発するものである。

②-2-1 直孔形状中子の成型技術の開発

直孔形状中子用の金型を製作し、①-3の強度基準をクリアした配合率の中子材料を混練したものを押出し成形機に投入し形状を作る。

アルミ用は低温である為、低い焼成温度で製造しバインダー量も減らせることから

乾燥後、直孔形状中子独特の歪も軽減する。

銑鉄用（銅合金も同様）は高温で湯の圧力も大きい為、中子成形圧力を上げ、熱間強度を出すため無機バインダーを多く使用し焼成温度も1, 250°C以上で製造することにより溶湯圧に負けない中子を開発する。

i. 研究内容

i-1. 中子の歪変形対策治具の検討

成形方法としては押出成形を用い、中子の歪変形を抑制する目的に専用治具を開発し、寸法精度の高い成型技術の確立を検討した。

i-2. 歪測定方法

下記に直孔中子歪測定を図2-②-1に示す。



図2-②-1 直孔形状中子の歪測定

i-3. 歪変形対策治具の効果の確認

直孔形状中子の歪み量測定結果を表2-②-1に示す。

中子径の寸法差を見ると0.02mm（最大径と最少径の差）とほとんど差がなく、ほぼ真円であることが分かる。また、中子の歪差としても0.1mm以下であり成形品の寸法精度としては非常に高いことが確認された。

表2-②-1 直孔形状中子の歪み量測定

	1	2	3	4	5	平均値	最大値
中子径測定値 (mm)	7.77	7.76	7.77	7.78	7.77	7.77	7.78
中子高さの測定値 (mm)	7.81	7.82	7.82	7.81	7.84	7.82	7.84
中子の歪み差 (mm)	0.04	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.07

※表中における中子の歪み差は(中子高さの測定値)-(中子径測定値)の差をもって歪み差とした。

φ8mmの直孔形状中子

中子径に対する変形量	0.1mm以下
------------	---------

ii. 研究成果等

中子の乾燥工程及び焼成工程における固定治具の検討により、中子変形量は±0.1 mm以下に抑えることができ、直孔形状中子については寸法精度の高い造型技術が確立できた。

②-2-2 曲孔形状中子の造型技術の開発

曲孔形状中子用の金型を製作し、①-3の強度基準をクリアした配合率の中子材料を混練したものを押出成形機に投入し、形状を作る。

アルミ用は直孔形状中子同様、焼成温度とバインダー量で調整する。一番の問題は曲孔形状中子の場合、中子が細く曲がっているため、水が浸透しにくくなることが予想される。従ってどの様に中子を軟化させるかの研究を、他分野の技術を参考に、開発を進めて行く（銑鉄铸件も同様）。

i. 研究内容

i-1. 流し込み成形方法

中子スラリーを作製し金型に流し込むことにより寸法精度の高い曲孔形状中子の成形技術の検討を実施した。熱水（80℃以上）に溶解する水溶性の増粘剤を使用し十分な流動性を持つ中子スラリーを作成し金型へ流し込み、その成形性、離型性等について評価した。中子の歪変形を抑制することを目的に専用治具を開発し、寸法精度の高い造型技術の確立を検討した。

また、流し込み中子の配合組成は金型へ流し込む最適なスラリー状態を確保する必要性があり、結果、水分量が高くなり中子密度が低くなることから鑄造時に耐えうる中子強度を確保するためにバインダー量を高くする必要がある。また、スラリーの分散性を高めることで減水効果が得られ、中子密度は高くなり、中子強度の向上に寄与する。その成分配合内容について表2-②-2に中子の成分表として示す。

表2-②-2 カーボン中子の成分

中子成分	(重量比)
黒鉛	100
無機バインダーA	60
分散剤	4
増粘剤	3
水	240

i-2. 流し込み成形中子の性質

流し込み成形の評価については表2-②-3にまた曲孔中子の歪量の測定は図2-②-2に示す。

表 2-②-3 流し込み成形の評価

脱型までの時間	離型性	収縮率
30 分以内	非常に良好	27%

i-3. 流し込み成形中子の歪の測定方法



図 2-②-2 曲孔形状中子の歪量の測定

i-4. 曲孔形状中子の歪測定の結果

曲孔形状中子の歪量測定結果を表2-②-3に示す。

この表で、中子径の寸法差を見ると 0.34mm（最大径と最少径の差）と大きく、真円では無く歪変形が生じている。また、中子の歪差としても 0.28mm と押出成形にて製造した直孔形状中子と比較し大きく、流し込み成形品の寸法精度としては、悪い結果となった。この点より、事業化に向けてのより寸法精度の高い中子造型技術が必要となる。

表 2-②-3 曲孔形状中子の歪み量

	1	2	3	4	5	平均値	最大値
中子径測定値 (mm)	5.90	6.07	5.75	5.90	5.73	5.87	5.90
中子高さの測定値 (mm)	6.18	6.24	5.87	6.05	5.83	6.03	6.18
中子の歪み差 (mm)	0.28	0.17	0.12	0.15	0.10	0.16	0.28

※表中における中子の歪み差は(中子高さの測定値)-(中子径測定値)の差をもって歪み差とした。

φ 6mm の曲孔形状中子

中子径に対する変形量	0.3mm 以下
------------	----------

ii. 研究結果

(イ) 流し込まれた中子は常温まで冷却されるとゼリー状に固化するため 30 分以内の短時間で脱型する事が可能になった。

(ロ) 離型剤を使用する事なく金型からの離型が容易となり、離型性としては非常に良好である。

(ハ) 適正なスラリー状にするためには高い水分量が必要となり、結果、乾燥途中における収縮が非常に大きくなるため、その際に生じる中子変形を抑制し寸法精度の高い曲孔形状中子を製造する事が今後の課題となる。

③ カーボン中子を使用する製品の鑄造技術の開発

ステップ1は比較的条件の軽いアルミ鑄物で検証し、徐々に条件の厳しいステップ2で、銅合金鑄物、最後に一番条件の厳しい銑鉄鑄物で崩壊性と変形や寸法精度の確認を行う。

状況によりバブリングを掛けて、より中子に水が浸透しやすい状態を作る事により、崩壊時間の短縮を計る。

鑄造後の中子を水で軟化させる方法の他に、精密鑄造用のショットブラストで除去する方法も同時に検証する。

変形・欠陥： 中子が細い為、鑄肌確認は内視鏡及びX線撮影により確認する。記録は全てデジタル化保存をする。

③-1 アルミ鑄物での鑄造技術の開発

初年度は単一体形状の直孔形状と曲孔形状で実施し、2年目以降の銅合金鑄物、銑鉄鑄物実施に伴う基礎データ取りを行い次に繋げ、さらに複雑形状中子へと進んでいく。実地テスト用の金型を製作し、法認定企業である都金属工業(株)で実証する。

i. 研究内容

i-1. アルミ鑄物用カーボン中子の評価

カーボン中子使用して鑄造試験を実施し、鑄造時における状態および切断後の鑄造品内部の状況を確認することにより、アルミ鑄物に使用した場合のカーボン中子进行评估した。

i-1-1. 鑄造条件

鑄鉄材質	: AC4A
注湯温度	: 720℃
主 型	: CO ₂ ガス型
鑄造法案	: 落とし込み
鑄物寸法	: W110mm×L150mm×H90mm

i-1-2. 鑄造結果とその判定

鑄造結果の評価を表2-③-1に、また鑄造品切断面の状態を図2-さ-3に示す。

φ5mmの直孔形状中子及び曲孔形状中子を用いた鑄造試験において図2-③-1に示す鑄物の切断面より鑄造時における中子折れや歪変形も無く、オリジナル中子形状を保持した状態で鑄抜き孔を確保する事ができた。また、中子の崩壊性においても良好な結果を得た。

表2-③-1 鑄造結果の評価

中子折れ	中子変形	焼着き	ガス欠陥	中子の崩壊性
○	○	○	○	○

※表中における評価について○：良好 △：やや悪い ×：悪い

φ 5 mmの直孔カーボン中子
を使用した鑄造品



φ 5 mmのU字孔カーボン
中子を使用した鑄造品



オリジナル中
子形状を保持
した状態で鑄
抜くことがで
きた。

図2-③-1 鑄造品の中子部の切断面写真

ii. 研究成果等

カーボン中子を使用して鑄造した結果、鑄造欠陥は無くφ 5～8 mmまでの直孔形状と曲孔形状を保持した状態で鑄抜くことができ、目標を達成できた。

③-2 銅合金鑄物での鑄造技術の開発

アルミ鑄物で培ったノウハウを銅合金鑄物で生かし、まず直孔形状でトライしてから曲孔形状へと進み、次年度の複雑形状では実地テスト用の金型を製作し、法認定企業である都金属工業㈱で実証する。

i. 研究内容

i-1. 銅合金鑄物用カーボン中子の評価

カーボン中子を使用して鑄造試験を実施し、鑄造時における状態および切断後の鑄造品内部の状況を確認することにより、銅合金鑄物に使用した場合のカーボン中子进行评估した。

i-1-1. 鑄造条件

鑄鉄材質 : BC-7
 注湯温度 : 1150℃
 主 型 : CO₂ガス型
 鑄造法案 : 落とし込み
 鑄物寸法 : W110mm×L150mm×H90mm

i-1-2. 鑄造結果とその判定

表2-③-1に鑄造結果の評価を、図2-③-2に鑄造品の切断写真を示す。

φ 6 mmの直孔中子及びφ 5 mmの曲孔形状中子を用いた鑄造試験において図2-③-2に示す鑄物の切断面より鑄造時におけるガス欠陥及び中子折れや歪変形も無く、オリジナル中子形状を保持した状態で鑄抜き孔を確保する事ができた。また、中子の崩壊性においても良好な結果を得た。

表2-③-2 鑄造結果の評価

中子折れ	中子変形	焼着き	ガス欠陥	中子の崩壊性
○	○	○	○	○

※表中における評価について○：良好 △：やや悪い ×：悪い

φ 6 mmの直孔カーボン中子
を使用した鑄造品



φ 5 mmのU字孔カーボン
中子を使用した鑄造品



オリジナル中
子形状を保持
した状態で鑄
抜くことがで
きた。

図2-③-2 鑄造品の切断面写真

ii. 研究成果等

カーボン中子を使用して鑄造した結果、鑄造欠陥は無くφ 5～8 mmまでの直孔中子形状と曲孔中子形状を保持した状態で鑄抜くことができ、目標を達成できた。

③-3 銑鉄鑄物での鑄造技術の開発

直孔、曲孔中子では径サイズ 10φ→8φ→6φ→4φ、長さ 50mm→80mm→100mm→150mm とステップアップして実証していく。複雑形状に付いて、実地テスト用の金型を製作し、法認定企業である光洋鑄造(株)と俊徳工業(株)で実証する。

i. 研究内容

i-1. 銑鉄鑄物用カーボン中子の評価

カーボン中子を使用して鑄造試験を実施し、鑄造時における状態および切断後の鑄造品内部を確認することにより、銑鉄鑄物に使用した場合のカーボン中子に付いて評価した。鑄造試験は一般的なキャビティーモールド鑄造法とフルモールド鑄造法の2種類にて実施した。

i-1-1. キャビティーモールド鑄造法による鑄造試験

i-1-1-1. 鑄造条件

鑄鉄材質 : FCD450相当
 注湯温度 : 1380℃
 主 型 : フラン樹脂鑄型
 鑄造法案 : 落とし込み
 鑄物寸法 : W110mm×L150mm×H90mm

i-1-1-2. 鑄造結果とその評価

表2-③-3に鑄造結果の評価を、図2-③-3に鑄鉄鑄物の切断面写真を示す。 $\phi 4\text{mm}$ の直孔中子及び $\phi 8\text{mm}$ の曲孔中子を用いた鑄造試験において図2-③-3に示す鑄物の切断面より鑄造時における歪変形も無く、形状を保持した状態で鑄抜き孔を確保することが出来た。中子の崩壊性についてはアルミ鑄物、銅合金鑄物と比較し、やや悪い状態であった。

表2-③-3 鑄造結果の評価

中子折れ	中子変形	焼着き	ガス欠陥	中子の崩壊性
○	○	○	○	△

※表中における評価について○：良好 △：やや悪い ×：悪い

$\phi 4\text{mm}$ の直孔カーボン中子を使用した鑄造品



$\phi 8\text{mm}$ のU字孔カーボン中子を使用した鑄造品



オリジナル中子形状を保持した状態で鑄抜くことができた。

図2-③-3 鑄造品の切断面写真

i-1-2. フルモールド鑄造法による鑄造試験

i-1-2-1. 鑄造条件

鑄鉄材質 : FC250相当
 注湯温度 : 1380℃
 主 型 : フラン樹脂鑄型
 鑄造法案 : 押し上げ
 鑄物寸法 : W200mm×L200mm×H150mm

i-1-2-2. 鑄造結果の評価

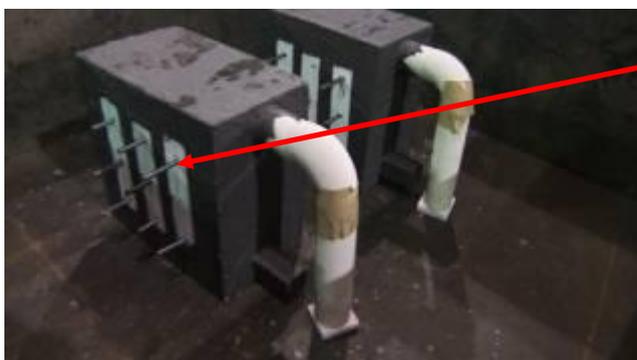
表2-③-4に鑄造結果と評価を示す。また、中子をセットした発泡模型を図2-③-4に示し、図2-③-5に鑄鉄鑄物の中子部の断面の状態を示す。

$\phi 8\text{mm}$ の直孔中子を用いた鑄造試験において図2-③-5に示す鑄物の切断面より中子折れ・歪変形も無く形状を保持した状態で鑄抜き孔を確保することができたが、中子の崩壊性においてはやや悪い状態であった。また、フルモールド鑄造法における中子への影響はほぼ認められず、一般的なキャビティモールド鑄造法とほぼ同等な結果が得られた。

表 2-③-4 鑄造結果の評価

中子折れ	中子変形	焼着き	ガス欠陥	中子の崩壊性
○	○	○	○	△

※表中における評価について○：良好 △：やや悪い ×：悪い



発泡模型にカーボン中子が挿入された状態

図 2-③-4 中子をセットした発泡模型



バリ・歪・変形も無く鑄抜く事が出来た。

図 2-③-5 鑄鉄鑄物の中子部断面の写真

ii. 研究成果

カーボン中子を使用してキャビティーモールド鑄造法及びフルモールド鑄造法で鑄造した結果、鑄造欠陥は認められずφ5～8mmまでの直孔中子形状を保持した状態で鑄抜く事が達成できた。また、鑄造品の重量が大きくなった場合でも同様の結果を得た。

但し、アルミ鑄物及び銅合金鑄物と比較し中子の崩壊性が悪く、この点は今後の事業化の課題として残った。

最終章 全体総括

I. カーボン中子用のカーボンとバインダーの選定及びその配合率の追求による中子材料の開発

カーボン中子には高い耐熱性（耐火度）、高温強度、通気性（ガスを逃がす）および崩壊性等が要求される。カーボン中子に用いる骨材は、酸化を除けば耐熱性、潤滑性、熱伝導性に優れ化学的に安定な黒鉛が最も適していると考えられる。

23年度においては、黒鉛類の中で最も結晶化の高い高純度な鱗状黒鉛を中心にバインダーとの配合率の追究により、ベースとなる基本配合の設計が達成できた。24年度は他の黒鉛類（土状黒鉛・人造黒鉛）との比較検証を実施し本論で述べた通り鱗状黒鉛を使用する事により中子の成形性、 casting性、崩壊性において優位性がある事が確認された。

また、中子に用いるバインダーは成形時における可塑性の付与及び中子の生型強度、 casting時における高温強度の付与を目的に適正な選定ができた。

最大の研究テーマである casting時における中子の歪，変形については、カーボンとバインダーの適正な配合率が確定できたことで目標とした中子変形を防止抑制することにつながった。

II. 開発した中子材料での中子成型技術の開発

中子成型のための最適な設備を選定し、押出成型により製造した直孔形状中子は専用持具を製作し、歪，変形防止を検討した結果、目標値をクリアする事ができ、精度の高い中子成型技術の確立ができた。

但し、曲孔及び複雑形状中子の製造においては歪，変形の問題も多く、より精度の高い成型技術の確立が今後の事業化に向けた課題である。

III. カーボン中子を使用する製品の casting技術の開発

①アルミ casting物

φ 5mm～φ 8mmの直孔形状中子及びφ 5mmの曲孔形状中子を使用した casting品は、ガス欠陥が無く、中子折れ，中子変形が生じることもなく中子形状を保持した状態で目標とする超細 casting抜き孔の確保ができ、目標を達成した。

②銅合金 casting物

φ 5mm～φ 8mmの直孔形状中子及びφ 5mmの曲孔形状中子を使用した casting品は、中子折れ，中子変形が発生せず、中子形状を保持した状態で目標とする超細 casting抜き孔の確保ができ、目標を達成した。なお、銅合金 casting物については当初、ガス欠陥という問題があったが、流し込み成型法で中子の通気性を確保し、対策も出来て、目標を達成することができた。

③ casting鉄 casting物

φ 4mm～φ 8mmの直孔形状中子及びφ 7mmの曲孔形状中子を使用した casting品は、ガス欠陥が認められず、中子折れ，中子変形が生じることもなく中子形状を保持した状態で目標とする超細 casting抜き孔の確保ができ、目標を達成した。

但し、アルミ，銅合金 casting物に使用した場合の中子崩壊性を比較し悪い状態であるの

で、この点については今後の事業化に向けて改善を要する課題である。

IV. 今後の事業展開

国内の鑄造業界全体の売り上げは12,000億円規模の産業で、材質別には銑鉄鑄物346万トﾝ(7,400億円)、アルミニウム鑄物38万トﾝ(2,700億円)、銅合金鑄物7.7万トﾝ(860億円)他であり、この2~3割が超細鑄孔や曲孔形状を求められており、カーボン中子を使用した鑄物に大きな需要があると考えます。

具体的には金型の空気抜き穴等のニーズが多く、ユーザーの機械加工工数を低減させることによりメリットを出すことができる。

プレス用金型鑄物の拡販をターゲットに事業化を推進する。また、機械部品では機械加工出来ない部位をカーボン中子で鑄抜くことにより高付加価値をつけ、鑄物の拡販をする。機械加工や溶接構造物に依存している生産工法の製品をカーボン中子を使用した鑄物に置換していく。なお、1、2年目でのニーズを絞り込みターゲットに向けて積極的にPR活動を行い高級銑鉄鑄物の拡販をしていく。

販売体制での開発技術については、日本鑄造協会のあらゆる機関(「鑄造ジャーナル」への掲載及び各種講演会)で公表し、PR活動や宣伝資料の配布と共に、顧客にPRしていく。

地方自治体主催の展示会等に出展しユーザーに密着した営業活動を行う。また、本メンバーのホームページにて技術開発として掲載し、ユーザーにダイレクトメールで送り拡販活動を行う。

専門用語等の解説

専門用語	解説
中子	鑄物中空部をつくるために、主型と別に鑄型をつくり、これを主の中 空部にはめ込む。この鑄型を中子という。
主型	中子に対して鑄物の外側をつくる外型のことをいう。
バインダー	粘結剤のこと。穀物類、油類、合成樹脂等で固める。
シェルモールド法	フェノール樹脂を粘結剤としヘキサメチレンテトラミンを硬化剤とし て砂に混合または被覆した鑄物砂を予熱した金型内で焼成して鑄型を 作る造型法。
炭酸ガス型	ケイ砂に水ガラスを配合して造型した鑄型に、CO ₂ ガスを通気して鑄 型を硬化させる造型法。
堰	湯道と鑄物部を結ぶ溶湯の流路。
キライ	鑄物の内部に生じる気泡状の穴。鑄込み中に空気や鑄型より発生する ガス、または溶湯から放出するガスを巻き込んで生じたもの。
ベントナイト	モンモリロナイトを主成分にする粘土。膨潤性が著しく、粘結力がカ オリン系の粘土よりも大きい。
クリストバライト	二酸化ケイ素の型の1つ。1470°Cから融点 1700°Cまで安定。1470°C 以下でも準安定に存在する。
熱間強度	鑄型が溶湯と接触する温度までの高温で試験される鑄物砂の強度＝ 高温強度
抗折強度	試験片の両端を支持ばりとし、その中央部に集中荷重を加えたときの 最大曲げ応力をいう。
示差熱分析・熱天秤	基準物質と試料を同時に一定速度で加熱して、両者の温度差と重量変 化を同時測定し、試料の融解などの相変化、分解など固相反応を解析 する。
X線回折分析	試料にX線を照射し、X線の回折パターンから試料の結晶構造を調べ る。X線回線データベースを用いて、原料、耐火物などの鉱物組成を 解析する。
特殊炭素製品	ピッチ、タールなどで成形し一次焼成で炭化を行い二次焼成で 黒鉛化した物。使用用途は電解用炭素電極、電気用ブラシ等に 使用されている。成形方法は押出し成形・C I P (等方性カーボン)材がある。
SEM・EDS分析	試料から発せられるX線は元素固有のエネルギーを持ちこれを利用し電子顕微鏡 (SEM) にエネルギー分散型X線 分析装置 (EDS) 接続しX線の解析を行う事で試料表面の元 素分布を分析する。
フルモールド法	フルモールド鑄造法とは発泡ポリスチレン で作った模型を砂の中に 埋め込み、そのまま溶湯を注入し鑄物を製造する方法です。即ち、 通常の方法では模型を砂から取り出し、その空隙に溶湯を注入しま すが、この方法では注入された溶湯の温度で発泡ポリスチレンが燃焼気

	化し、溶湯と置換されて鋳物が出来るものです。
PMMA	アクリル樹脂という名称のほうが一般的に用いられます。正式にはメタクリル樹脂もしくはポリメタクリル酸メチル、ポリメチルメタクリレート (PMMA) となります。熱可塑性プラスチックのうち、非晶性に分類されます。
E P S	発泡スチロール (発砲スチロール、foamed styrol) は、合成樹脂素材の一種で、気泡を含ませたポリスチレンである。
引け巣	鋳物の表面、又は内部に主として溶湯の凝固収縮により生じる粗い内壁を持つ空洞